



光纖通信系統懶人包

交通部中華技術服務社 顧問 劉時森老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

前言

光通信系統是怎麼運作？家裡的電話屬於電子領域。拿話筒講話時，嘴巴振動空氣，話筒的麥克風受空氣振動，產生壓力改變話送內的電阻，同時改變了機房送來的電流強度。持續不斷的講話，電流就隨著語音強度變化，即所謂的“類比”。類比電流含撥接地址、講話內容、區域碼，順著電話線路，一路跑到離家裡最近的電信機房（甲機房）。在機房內，此電流被轉換成一連串用電流脈衝的「大」、「小」代表「1」或「0」的“數位信號”，此轉換的機制稱為“博碼調變（Puls Code Modulation, PCM）”。

這些電流脈衝跑進像一粒鹽巴大小的「雷射（Laser）」內部，使雷射閃閃發光（非可見光，故眼睛看不見），變成光信號，此過程叫“電光轉換”。這些光亮射入一條細如髮絲的玻璃纖維，傳送一段距離後到了另一端的機房（乙機房）。在此機房內，光纖對著也是一粒鹽巴大小的「檢光器（Detector）」照射，把光信號轉換成電信號，即“光電轉換”。此轉換後的電信再沿著電纜傳送到通話對象家裡的電話。

常常聽人們談光纖，但我們卻看不到光纖，如果看見會大失所望。因為光纖長得不怎麼起眼，就像老人家的白頭髮。是一條纖細透明的絲狀物，外包一層塑膠，比頭髮粗一點，但比較強韌，類似吊魚線。掉落在地上不易被看

見，用手去撿拾就像在地板撿落髮一樣。

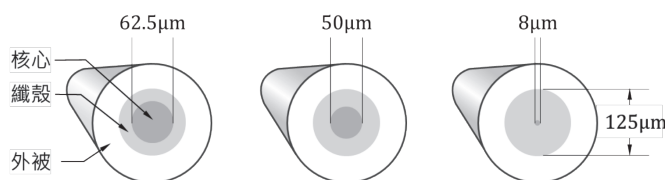
一、光纖

一般窗戶的透明玻璃，無論擦得多乾淨，只能讓90%的照射光穿透，10%反射，玻璃本身還要吸收一些。

我們總是很習慣於用反射或灰塵來確認玻璃的存在，還經常撞到玻璃門。但很少人會想到，玻璃不會留住何光線。如果仔細看平面玻璃的邊緣，它呈暗的或墨綠色，是因為光線不會從玻璃邊緣射到另一邊緣。較為純淨的平面玻璃雜質少，可用於望遠鏡或照相機鏡頭。

光纖技術的高明讓人很難想像。把台灣串起來，把地球繞起來的光纖，是由最透明、最純的玻璃製成，每一ppb所含雜質必須小於10。雷射光經過光纖100公里傳輸，透明到在另一端仍然有1%的光存在，隱約可以看到對方有人在走動。就像潛入羅東附近的海裡，往南看到花蓮附近的海面，可以依稀的看到有人在游泳。

光纖有三種，如下圖。結構上分三層，核心、纖殼、及外被。核心與纖殼材質相同，但材料密度不同，核心材質的密度大於纖殼。外被為PVC構成，可以染色以資識別。



圖（一）光纖的結構與尺寸

核心50及62.5的光纖能傳送很多條光線，叫“多模態光纖”。8的只能傳送一條光線，稱為“單模態光纖”。光纖的傳輸特性與銅線截然不同。銅線直徑越大，傳輸信號的能力越好。光纖核心直徑越大，則傳輸能力越差。多模態光纖「有效傳輸」距離平均在三百公尺，大都用於距離短的區域網路。單模態光纖不需幫電或放大設備，「有效傳輸」距離達40公里，電信網路都採用這種光纖。

二、雷射與檢光器

這兩個鹽巴粒大小的雷射與檢光器的技術更是驚人！是由數層厚度僅幾微米，成份經過精心調配的半導體堆疊而成，可控制通過的電流及光子。這些薄片很便宜，但要把它們包裝起來，精準的控制光束射入光纖卻很費工夫，這就是光纖通信的光源不便宜的原因。

在日常生活中，有導體、絕緣體、及半導體。導體如銅線在常溫下，溫度會驅動內部的電子移動，產生無意義的電流信號，即所謂的“雜訊”。絕緣體像塑膠，無論加上多大的電壓就是不導電，最後燒毀。半導體平常呈絕緣狀態，只要稍加電壓就變成導體。藉由控制所加電壓的極性，使半導體在設定的條件下運作，譬如使電子變成光子，或讓光子變成電子。

為什麼電子會變成光子呢？是一種能量轉換的機制。半導體內的電子受到外加電壓（1、0的電數位信號），電子能量昇高到一個程度後會釋放能量，這個能量以光子的形式呈現。就像水加熱後變成蒸氣，用導管把這蒸氣引到他處，可以做其他的事。把這些光子射入光纖後，在光纖內傳輸到對方。這個發光的半導體就是雷射或LED。

當這些光子到了目的地後，當地也有一個半導體，但所加的電壓極性與發光半導體的相反。從水蒸氣的角度，這個半導體就是冷凝器，把蒸氣轉換成水。光子進入這個半導後，又變成和先前進入雷射的數位電子信號一樣的電脈衝，被引出來成為收到的數位電信號，此半導體叫做“檢光器（Detector）”。把光源光纖檢光器就構成一個光通信系統，如下圖：



圖（二）光纖通信系統架構

三、核心直徑不同又是什麼意思？

相信大家都看過手電筒照明，從燈泡發射亮光到牆壁，照明範圍變成一個圓，光束外形為圓錐體，往較遠的地方照射則燈光暗淡消失。也看過簡報銀幕上雷射筆照射過來的亮點，還可以射到很遠的地方。把這兩種光源縮小到微米程度，然後連接上光纖，就知道光纖的核心直徑為什麼有大有小。

光纖通信系統使用LED與雷射兩種光源，光源特性決定光纖系統性能。手電筒類似LED，所發出的光波很寬（40~190nm），在空中傳播會擴散。功率低，照射距離不遠。簡報用雷射筆類似光纖雷射，波寬窄（0.00001~10nm）功率高，在空中傳播不太會擴散，且可長距離照射。

因LED光束會擴大，故需要大核心的多模態光纖，比較容易射入；又因功率低，只能用在短距離的光纖網路（區域網路）。雷射光束在空中稍微擴散，近似一直線，可以射入核心很小的單模態光纖；功率高，可以長距離的傳輸，所以適用於電信網路。



既然如此，為什麼不淘汰LED？是因為成本及CP值（Cost-performance Ratio）的關係。因為雷射比LED貴許多，而且電信網路一出門就是數公里，只能選擇雷射。區域網路大都在社區或建築物範圍內，使用低功率光源及多模態光纖架構即可達，亦可傳送高速率，CP值很高。因此，市場上佔有一席之地。

四、光纖通信系統的發展

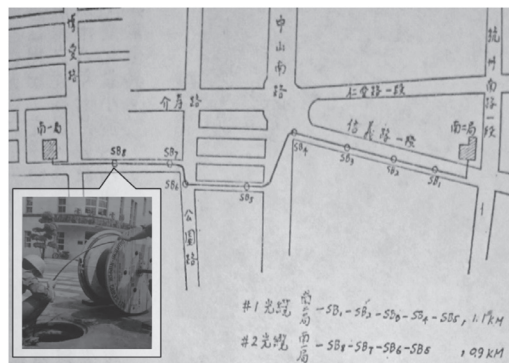
先講一個真實的故事。1975年夏天，英國南方小鎮Dorset警察局的無線通信系統的天線被雷擊，強大電流沿著電纜後傳到控制室，毀了整個系統。當時警員外出執勤，為了與警網聯絡，必須在鎮區的高地架設無線中繼站，整個警察的執勤能力受到相當大的影響。

為了不讓這種事情重演，局長找了一位曾經在國防部工作的警官，名叫Geoffrey Philips。當時英國軍方對光纖通信興趣極高，因此Geoffrey對光纖有相當的瞭解。他認為光纖不傳電流，不會有雷擊的問題。於是建議局長聯絡「英國電話纜線（Standard Telephones and Cables）」公司。這家廠商販售實驗用光通信設備一段時間，但從未商用化。局長管不了這些，只要不受雷電影響就可。於是立即簽約採購架設，到了秋天（九月）系統建置完成。運作效果良好，甲、乙雙方都很高興。

這是世界第一個實際運作的光纖通信系統。從此，光纖通信有很大的突破。1976，貝爾實驗室在大西洋現場實驗。1977，爾實驗室、GTE、英國電信開始用光纖承載電信話務。接著進步不斷，速率一直提昇。

五、台灣的光通信系統

台灣也不落人後。1979年7月，台北南一局與南二局之間完成國內第一個光纖鏈路。距離約2公里，局間光纜由一條1.1公里及一條0.9公里光纜連接而成。佈放工程由當時的台管局與台北電話局負責，終端機之安裝與系統特性測試由電信訓練所負責，傳輸速率分別為T1（1.544Mbps）及T3（44.736Mbps）。



旋於1979年台中民權—黎明，1982年中壢北分局到電信研究所，1983年台中—豐原。1982年長途線路全面光纖化。光纖通信系統於是在台灣生根，全島開始佈建光纖網路。

從1989年開始到2005年，陸續建設西部幹線六條，東部幹線三條。另有海底光纜，從1991年金門—烈嶼—2004年台灣—澎湖，共建十條。90年代開始，市話中繼線路光纖化。2000年迄今，用戶線路光纖化，光纖到府如雨後春筍。台灣的光纖網路，幾乎已經全面光化。

近年全世界被動光網路（Passive Optical Network，PON）不停的發展，把網路結點的主動元件改用被動元件。在國際通信聯盟（ITU-T）的建議下，台灣及世界各國在既有光纖網路上使用被動元件並加上新的光波，通信速率不斷提高。